

## Beschreibung

Hinsichtlich der Netzauslastung optimiertes Shortest Path

## 5 Routing

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Wegen in einem mit Links gebildeten Kommunikationsnetz für ein in Bezug auf die Netzauslastung und ein für das Kommunikations-  
10 netz erwartetes Verkehrsaufkommen optimiertes Shortest Path Routing.

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Kommunikationsnetze und berührt insbesondere Aspekte des Gebietes der paketba-  
15 sierten Netze.

In Datennetzen bzw. paketbasierten Netzen, wie z.B. dem IP (Internet Protocol) basierten Internet, werden derzeit meis-  
tens so genannte Single Shortest Path Routing Verfahren ver-  
20 wendet. Bei diesen Verfahren, z.B. OSPF (Open Shortest Path First) und IS-IS (Intermediate System - Intermediate System) werden den Links eines mit Links gebildeten Netzes so genann-  
te Linkkosten zugewiesen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einer Metrik. Zwischen zwei Punkten oder Knoten wird  
25 dann im Sinne dieser Metrik der kostengünstigste bzw. kürzeste Weg (Shortest Path) bestimmt. Dieser kürzeste Weg ist ge-  
geben durch den Weg mit den geringsten für die den Weg kon-  
stituierenden Links akkumulierten Linkkosten. Eine sehr kon-  
servative Wahl ist es, die Linkkosten für jeden Link gleich  
30 (z.B. gleich eins) zu setzen. Damit ist der kürzeste Weg bzw.  
Shortest Path der Weg mit der geringsten Anzahl an Hops bzw.  
Links.

Es ist wünschenswert, in einem Netz alle Links möglichst  
35 gleichmäßig auszulasten. Eine gleichmäßige Auslastung maxi-  
miert in dem Netz die Unempfindlichkeit gegenüber dynamischen  
Laständerungen, die sowohl durch zusätzliches Verkehrsaufkom-

men wie auch durch den Ausfall von Links auftreten können. Es sind Verfahren bekannt, die mit hohem Programmier- und Rechenaufwand den Links im Netz Kosten derart zuweisen, dass ein im Hinblick auf die Verkehrsverteilung optimales Routing erreicht wird. Diese Verfahren sind jedoch in der Regel so aufwändig, dass eine verteilte Durchführung in allen Routern des Netzes nicht vertretbar ist. Es werden deshalb heute überwiegend nicht optimale Linkkosten verwendet, z.B. gleiche Kosten für alle Links oder Knoten, die umgekehrt proportional zur Bandbreite des Links sind. Unumgängliche Anpassungen der Linkkosten werden häufig manuell gemacht, was ein hohes Fehlerrisiko birgt. Somit wird im praktischen Netzen meist eine suboptimale Verkehrsverteilung in Kauf genommen.

15 Die Erfindung hat zur Aufgabe, ein einfaches Verfahren zur Bestimmung von Wegen für ein optimiertes Shortest Path Routing anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch Anspruch 1 gelöst.

20 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Wege (häufig auch in der Literatur Pfade genannt) für ein im Bezug auf die Netzauslastung optimiertes Shortest Path Routing bestimmt. Shortest Path Routing bedeutet dabei, dass hinsichtlich einer Metrik kürzeste Wege bestimmt werden. Um die Netzauslastung quantifizieren zu können, wird von einem erwarteten Verkehrsaufkommen ausgegangen. Dieses Verkehrsaufkommen wird beispielsweise mittels einer Verkehrsmatrix, d.h. einer Matrix, welche für einen Quell- und einen Zielpunkt eine zu 25 transportierende Verkehrsmenge vorsieht, mathematisch ausgedrückt. Die Einträge der Verkehrsmatrix können aufgrund von Erfahrungswerten oder gemessenen Werten bestimmt sein. Bei 30 dem erfindungsgemäßen Verfahren werden folgende Schritte durchgeführt:

35 a) Den Links des Kommunikationsnetzes werden Startwerte für die Linkkosten zugewiesen. Diese Startwerte sind bei-

spielsweise alle gleich und haben einen numerischen Wert, beispielsweise 1.

5 b) Anhand dieser Linkkosten, bzw. der durch sie gegebenen Metrik werden optimale Wege für das Routing in dem Kommunikationsnetz berechnet. Bei dieser Berechnung ist es sinnvoll, möglichst alle optimalen Wege, d.h. auch Alternativwege zu berücksichtigen und für das weitere Verfahren zu verwenden. Eine derartige Berechnung kann beispielsweise in jedem Router für die möglichen Ziele mittels eines Protokolls wie OSPF oder IS-IS durchgeführt werden. Um Alternativwege zu berücksichtigen, kann das im Rahmen des OSPF-Protokolls definierte ECMP (Equal Cost Multi Path) Konzept, welches die Verwendung von äquivalenten Wegealternativen vorsieht, verwendet werden.

10 c) Für die berechneten optimalen Wege wird mit Hilfe des erwarteten Verkehrsaufkommens ein die Linknutzung oder Link-Verkehrslast betreffender Parameter für die einzelnen Links des Kommunikationsnetzes ermittelt. Dieser Parameter ist beispielsweise durch die absolute Verkehrslast der einzelnen Links, die auf die Bandbreite bezogene relative Verkehrslast, bei der Linkbenutzung anfallende verkehrsabhängige Kosten, die Linkverfügbarkeit, die Laufzeit des jeweiligen Links oder die Belastbarkeit von Endknoten der jeweiligen Links gegeben.

15 d) Mit diesem für die einzelnen Links ermittelten Parameter werden die Linkkosten der einzelnen Links geändert, und zwar in der Weise, dass ein erster Link, der im Vergleich zu einem zweiten Link einen höheren Parameter aufweist, relativ zu diesem zweiten Link eine Erhöhung der Linkkosten erfährt. Diese Änderung läuft also darauf hinaus, dass höher belastete Links „teurer“ werden, also höhere Linkkosten haben und folglich im Sinne eines Shortest Path Routings weniger stark bevorzugt werden.

20 e) Mit diesen veränderten Linkkosten wird das Routing im Kommunikationsnetz optimiert. Eine optimale Route ist eine Route, die die Summe der Linkkosten aller auf der Route eingeschlossenen Links minimal macht. Eine optimale Route kann aus einer oder mehreren alternativen Routen bestehen, die die gleiche Summe der Linkkosten aufweisen. Eine optimale Route kann aus einer oder mehreren alternativen Routen bestehen, die die gleiche Summe der Linkkosten aufweisen.

25 f) Die optimale Route wird im Kommunikationsnetz implementiert. Dies kann durch das Setzen von Routen in den Routertabellen oder durch das Ändern der Linkkosten in den Linkkostenlisten erfolgen. Die optimale Route wird im Kommunikationsnetz implementiert. Dies kann durch das Setzen von Routen in den Routertabellen oder durch das Ändern der Linkkosten in den Linkkostenlisten erfolgen.

30 g) Das Kommunikationsnetz wird überwacht, um sicherzustellen, dass die optimale Route korrekt funktioniert. Dies kann durch die Überwachung der Verbindungen zwischen den Routern oder durch die Überwachung der Datenflüsse auf den Links erfolgen. Das Kommunikationsnetz wird überwacht, um sicherzustellen, dass die optimale Route korrekt funktioniert. Dies kann durch die Überwachung der Verbindungen zwischen den Routern oder durch die Überwachung der Datenflüsse auf den Links erfolgen.

35 h) Wenn die optimale Route nicht korrekt funktioniert, wird sie wieder geändert. Dies kann durch das Ändern der Linkkosten in den Linkkostenlisten oder durch das Ändern der Routen in den Routertabellen erfolgen. Wenn die optimale Route nicht korrekt funktioniert, wird sie wieder geändert. Dies kann durch das Ändern der Linkkosten in den Linkkostenlisten oder durch das Ändern der Routen in den Routertabellen erfolgen.

Größe des Parameters für diesen speziellen Link im Vergleich zu dem Durchschnittswert des Parameters darstellt.

- 5 e) Anhand dieser neuen, nach Maßgabe des Parameters geänderten Linkkosten werden die der ursprünglich berechneten Wege bestimmt, die nach Maßgabe der geänderten Linkkosten noch optimal sind. Ausgehend von dem erwarteten Verkehrsaufkommen wird dann für ein Routing über diese optimale Untermenge an Wegen der die Linknutzung betreffende Parameter für die Links des Kommunikationsnetzes bestimmt.
- 10 f) Die Änderung der Linkkosten und die Bestimmung des die Linknutzung betreffenden Parameters auf Grundlage der Untermenge an optimalen Wegen wird durchlaufen bzw. wiederholt, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist. Dieses Abbruchkriterium besteht beispielsweise darin, dass der maximale linkbezogene Wert dieses Parameters höher ist, als beim vorangegangenen Durchlauf. Die Pfade, welche beim vorangegangenen Durchlauf zu der Untermenge an optimalen Pfaden gehörten, können dann für das Routing innerhalb des Netzes verwendet werden. Für ein Single Shortest Path Routing ist es sinnvoll, zusätzlich als Abbruchkriterium noch zu fordern, dass die Untermenge an optimalen Wegen keine Wegealternativen enthält. Man kann 15 diese Eigenschaft der Untermenge an Wegen forcieren, in dem man eine eventuelle Verkehrsmatrix, welche das erwartete Verkehrsaufkommen beschreibt, durch kleine Zufallszahlen ändert, um mögliche Symmetrien bei den Pfaden zu brechen.
- 20 g) Eine Untermenge an optimalen Wegen, welche in Schritt e) identifiziert wurde, wird dann für das Routing in dem Kommunikationsnetz verwendet. Je nach Abbruchkriterien ist es sinnvoll, z.B. die jeweils im letzten oder vor- 25 letzten Schritt bestimmte Untermenge zu verwenden.

35

Das erfindungsgemäße Verfahren ist aufwandsarm. Eine Berechnung von Wegen findet lediglich in Schritt b) statt. Aus die-

sen Wegen werden die für eine ausgeglichene Verkehrsverteilung optimalen Wege im Rahmen des Verfahrens ermittelt. Für ein Single Shortest Path Routing kann das Verfahren so gesehen werden, dass aus einer Menge optimaler Pfade, welche möglichst alle Alternativpfade umfassen, die Wege herausgesucht werden, welche zu einer optimierten Verkehrsverteilung führen, wobei Wegealternativen nicht mehr zugelassen werden. Das Verfahren führt dann gewissermaßen von einem z.B. mittels ECMP bestimmten Mehrwegerouting zu einem in Hinblick auf die Verkehrsverteilung optimierten Einwegerouting.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden im Rahmen eines Ausführungsbeispiels anhand einer Figur näher erläutert.

Die Figur zeigt ein Ablaufdiagramm der bei dem Verfahren durchlaufenen Schritte. Die Linkkosten  $LK(L)$  der Links  $L$  eines Netzes werden mit dem Wert 1 initialisiert. Im nächsten Schritt wird mit Hilfe des ECMP-Verfahrens, welches im Rahmen des OSPF-Protokolls definiert ist, die Menge aller im Sinne der durch Linkkosten  $LK = 1$  gegebenen Metrik optimalen Pfade  $Pi(Z)$  berechnet. Diese Berechnung erfolgt beim OSPF-Protokoll üblicherweise in jedem Knoten. Es werden dabei für jeden Knoten die zu einem Ziel  $Z$  optimalen Pfade  $Pi(Z)$  ermittelt und dementsprechend die Links für das Weiterleiten von Datenpaketen zu diesem Ziel  $Z$  festgelegt. Mittels der Verkehrsmatrix  $VM$  wird der auf diesen Pferden  $Pi(Z)$  transportierte Verkehr  $V(L)$  für jeden Links ermittelt. (Im Rahmen des Ausführungsbeispiels ist der die Linknutzung betreffende Parameter durch den Verkehr auf den jeweiligen Link gegeben). Die Linkkosten  $LK(L)$  werden dann nach Maßgabe der folgenden Formel geändert:

$$LK(L) = \frac{LK(L) \times V(L)}{Vav}$$

Dabei ist  $Vav$  die durchschnittliche Verkehrsbelastung auf den Links. Im nächsten Schritt wird die Untermenge der Pfade bzw.

Wege  $P_j(Z)$  betrachtet, welche nach Maßgabe der geänderten Linkkosten noch minimal sind. Dass heißt, die Linkkosten  $LK(P_j(Z))$  dieser Wege  $P_j(Z)$  sind minimal hinsichtlich der Wege von einem Knoten zu demselben Ziel  $Z$ . Die Verkehrslast  $V(L)$  der einzelnen Links wird für Routing über diese Unter- 5 menge an Wegen  $P_j(Z)$  anhand der Verkehrsmatrix  $VM$  berechnet. Die Änderung der Linkkosten, die Bestimmung der Untermenge an minimalen Wegen  $P_j(Z)$  und die Berechnung der Verkehrslast der einzelnen Links  $V(L)$  wird so lange wiederholt, bis das fol- 10 gende Abbruchkriterium erfüllt ist: Es gibt keine Wegealternativen mehr, d.h. von jedem Knoten gibt es zu jedem Ziel  $Z$  nur noch einen im Sinne der Metrik optimalen Pfad  $P_j(Z)$  im vorletzten Schritt und das Maximum der Verkehrslast  $V(L)$  über alle Links ist im gegenwärtigen Schritt größer als das Maxi- 15 mum beim vorangegangenen Schritt. Die Wege  $P_j(Z)$  vom vorletzten Schritt und die Linkkosten  $LK(L)_{n-1}$  im vorletzten Schritt werden nun für ein bezüglich der Verkehrsverteilung optimier- tes Single Shortest Path Routing verwendet.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Wegen ( $P_j(Z)$ ) in einem mit Links ( $L$ ) gebildeten Kommunikationsnetz für ein in Bezug auf die Netzauslastung und ein für das Kommunikationsnetz erwartetes Verkehrsaufkommen ( $VM$ ) optimiertes shortest-path Routing,  
bei dem
  - a) den Links ( $L$ ) Startwerte für Linkkosten ( $LK(L)$ ) zugewiesen werden,
  - b) bezüglich der Linkkosten ( $LK(L)$ ) optimale Wege ( $P_i(Z)$ ) für das Routing in dem Kommunikationsnetz berechnet werden,
  - c) für das Routing des erwarteten Verkehrsaufkommens ( $VM$ ) über die berechneten optimalen Wege ( $P_i(Z)$ ) ein die Linkverkehrslast betreffender Parameter ( $V(L)$ ) für die Links ( $L$ ) des Kommunikationsnetzes ermittelt wird,
  - d) die Linkkosten ( $LK(L)$ ) der einzelnen Links ( $L$ ) nach Maßgabe des für den jeweiligen Link ermittelten Parameters ( $V(L)$ ) in der Weise geändert werden, dass die Linkkosten ( $LK(L)$ ) eines ersten Links ( $L$ ) mit einem im Vergleich zu einem zweiten Link ( $L$ ) höheren Parameterwert relativ zu den Linkkosten ( $LK(L)$ ) des zweiten Links erhöht werden,
  - e) für das Routing des erwarteten Verkehrsaufkommens ( $VM$ ) über die Untermenge an Wegen ( $P_j(Z)$ ) der berechneten Wege ( $P_i(Z)$ ), die bezüglich der geänderten Linkkosten ( $LK(L)$ ) optimiert sind, der die Link-Verkehrslast betreffende Parameter ( $V(L)$ ) für die Links ( $L$ ) des Kommunikationsnetzes ermittelt wird,
  - f) die Schritte d) und e) durchlaufen werden, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist und
  - g) die Untermenge an Wegen ( $P_j(Z)$ ), welche bei einem der letzten Durchläufe des Schrittes e) für die Ermittlung des die Link-Verkehrslast betreffenden Parameters ( $V(L)$ ) verwen-

det wurde, für das Routing in dem Kommunikationsnetz verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
  - 5 dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) alle Wege ( $P_i(Z)$ ) für das Routing in dem Kommunikationsnetz berechnet werden, die bezüglich der Startwerte für die Linkkosten ( $LK(L)$ ) optimal sind.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter ( $V(L)$ ) durch die absolute Verkehrslast, die auf die Linkbandbreite bezogene relative Verkehrslast, bei der Linkbenutzung anfallende verkehrsabhängige Kosten, die Link-15 Verfügbarkeit, die Laufzeit des jeweiligen Links oder die Belastbarkeit von Endknoten des jeweiligen Links gegeben ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 die Startwerte für die Linkkosten ( $LK(L)$ ) für alle Links ( $L$ ) gleich gewählt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 die Wege ( $P_i(Z)$ ) mittels des ECMP (Equal Cost Multipath) Verfahrens berechnet werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 die Änderung der Linkkosten ( $LK(L)$ ) darin besteht, dass die Linkkosten ( $LK(L)$ ) eines Links ( $L$ ) mit einem Faktor multipliziert werden, wobei der Faktor ein Maß für die Belastung des

Links ( $L$ ) relativ zur Durchschnittsbelastung der Links darstellt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass  
bei jeder Ermittlung des die Link-Verkehrslast betreffenden  
Parameters ( $V(L)$ ) in Schritt e) das Maximum des Parameters  
( $V(L)$ ) ermittelt wird und das Verfahren abgebrochen wird,  
falls  
10 das Maximum des die Link-Verkehrslast betreffende Parameters  
( $V(L)$ ) höher liegt als beim vorangegangenen Durchlauf der  
Schritte d) und e).

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass  
das Verfahren erst dann angehalten wird, wenn zusätzlich erfüllt ist, dass beim vorangegangenen Durchlauf die Untermenge an Wegen ( $P_j(Z)$ ) keine Alternativwege enthält.

20 9. Verfahren nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- das erwartete Verkehrsaufkommen ( $VM$ ) mittels einer Verkehrsmatrix beschrieben wird und  
- bei einem Durchlauf die Verkehrsmatrix mittels in Relation  
25 zu den Einträgen in der Zufallsmatrix kleinen Zufallswerten  
so geändert wird, dass die Untermenge an Wegen ( $P_j(Z)$ ) keine  
Alternativwege enthält.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass  
die Untermenge an Wegen ( $P_j(Z)$ ) des vorangegangenen Durchlaufs für das Routing in dem Kommunikationsnetz verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das erwartete Verkehrsaufkommen (VM) mittels einer Verkehrs-  
5 matrix beschrieben wird.

